

Lauri Kohtamäki

PATERNOSTER-VARASTOAUTOMAATIN MODERNISOINTI

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

2013

PATERNOSTER-VARASTOAUTOMAATIN MODERNISOINTI

Kohtamäki, Lauri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2013
Ohjaaja: Suvela, Timo
Sivumäärä: 30
Liitteitä: 7

Asiasanat: ohjausjärjestelmät, varastointi, sähkösuunnittelu, suojalaitteet

Opinnäytetyön aiheena oli vanhentuneen paternoster-varastautomaatin modernisointi. Työssä käsitellään projektin eri vaiheet, perustellaan ja esitetään tehdyt ratkaisut, käsitellään projektin aikana syntyneitä ongelmia sekä esitellään projektin lopputulos.

Tämän opinnäytetyön alussa käsitellään projektin lähtökohdat, esitellään vanha järjestelmä ja pohditaan projektiin liittyviä riskejä. Työssä käydään läpi lainsäädännön ja koneturvallisuusmääräysten vaikutusta projektiin ja selvitetään niiden aiheuttamia velvoitteita. Käytettyjen laitteiden, kuten Unidrive SP2402-taajuusmuuttajan ja Schneiderin optisen haarukka-anturin, valintojen taustat ja perustelut esitetään. Lisäksi projektin tuloksena syntyneet sähkökuvat löytyvät liitteinä. Siemensin 1212C-logiikalle toteutetun modernisoidun ohjausjärjestelmän tehtävät ja taustat käydään läpi. SCL-ohjelmointikielellä tehdyistä ohjelmakomponenteista tarjotaan lähdekoodit ja esitellään niiden toimintaa. Ihmisen ja koneen välisestä rajapinnasta kerrotaan käyttäjän tehtävä sekä verrataan vanhan ja uuden järjestelmän tehokkuutta ja käytettävyyttä keskenään.

Opinnäytetyön lopussa käydään läpi tulokset ja kerrotaan projektin toteuttamisesta. Lisäksi esitetään jatko- ja kehitysehdotuksia projektin tulevaisuutta ajatellen.

MODERNISATION OF A VERTICAL CAROUSEL STORAGE SYSTEM

Kohtamäki, Lauri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in automation technology

August 2013

Supervisor: Suvela, Timo

Number of pages: 30

Appendices: 7

Keywords: control systems, storing, electrical planning, protective devices

The purpose of this thesis was to modernise outdated vertical carousel storage system. This thesis will cover different stages of the project, explain and justify why certain decisions were made, discuss about problems that were faced during the project and present the end result of this project.

In the beginning of the thesis the premises of the project will be presented, the old system will be introduced and risks concerning the project will be discussed. Legislation concerning work and machine safety will be discussed and the effects of what they had for the project. Selection of the devices, such as Unidrive SP2402 frequency converter or Schneider optical fork sensor, will be discussed and reasons for the decisions will be given. Circuit diagrams made during the project are appended to this work and they will provide insight about the project. Premises and functions of the control system implemented with Siemens 1212C logic controller will be discussed. The source code of critical software components made with SCL-programming language will be embedded and explained in the text. Human-machine-interface will be discussed and the duties of the operators of the machine will be described. The usability of the new and old HMI versions will be compared.

Finally the end results of the project will be presented and ideas for improvements and future development will be given.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PROJEKTIN MÄÄRITTELY	7
2.1	Projektin vaiheet	7
2.2	Projektin riskit	8
2.3	Projektin resurssit.....	8
3	VANHAN JÄRJESTELMÄN KUVAUS	8
4	LAINSÄÄDÄNTÖ	9
5	KONETURVALLISUUS	11
6	MOOTTORIKÄYTTÖ JA OHJAUS.....	12
7	SIIRTYMÄANTURI.....	14
7.1	Tausta	14
7.2	Anturin valinta	15
8	LOGIIKKA	18
8.1	Logiikan valinta	18
8.2	Ohjelman tehtävät	20
8.3	Logiikan ja taajuusmuuttajan välinen rajapinta	21
8.4	Hyllyjen automaattinen ajo.....	21
8.5	Siirtymän laskenta.....	23
9	KONEEN JA IHMISEN VÄLINEN RAJAPINTA.....	24
10	PROJEKTIN TOTEUTTAMINEN JA TULOS	28
10.1	Projektin tuloksen hyödyntäminen ja arviointi.....	28
10.2	Projektin jatkuminen ja keskeiset uudet ideat	29
10.2.1	Yhdistäminen ERP-järjestelmään	29
10.2.2	Viivakoodinlukija ja selailujen ketjuttaminen	29
10.2.3	Anturoinnin parantaminen.....	29
	LÄHTEET	30
	LIITTEET.....	31

SYMBOLIT JA LYHENTEET

DB – Data Block, Siemensin ohjelmointiympäristön tapa tallentaa tietoa

ERP – Enterprise Resource Planning, tuotannonohjaus

FBD – Function Block Diagram, PLC-ohjelmointikieli

HMI – Human Machine Interface

I/O – Input / Output, logiikan tulot ja lähdöt

LAD – Ladder, PLC-ohjelmointikieli

PLC – Programmable Logic Controller, ohjelmitava logiikka

RTU – Remote Terminal Unit, mikroprosessoriohjattu kenttälaite

SCL – Structured Control Language, PLC-ohjelmointikieli

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on paternoster-varastoautomaatin modernisointi. Opinnäytetyön tarjosi Ulvilassa ja Keravalla toimiva Satmatic Oy. Satmatic Oy on yksi Suomen johtavista sähkö- ja automaatiotekniikan rakentajista, jonka palveluksessa toimii noin 100 alan ammattilaista. Satmatic Oy on tunnettu keskusvalmistaja ja erilaisia keskuskokonaisuuksia valmistuu vuosittain noin 2500 kappaletta. Modernisoitavaa automaattivarastoa käytetään keskusvalmistuksessa tarvittavien komponenttien tehokkaaseen varastointiin. (Satmatic Oy 2013, 2.)

Paternoster-tyyppisessä hississä korit voivat kiertää täyden kierroksen ja siten olla jatkuvassa liikkeessä. Tämän tyyppisen varaston ideana on käyttää korkean hallin tila tehokkaasti hyväksi ja tuoda tarvittavat tavarat ergonomiselle keräilykorkeudelle. Näin säästytään korkeilta hyllyiltä ja tikkaiden käytöltä. Periaate tunnetaan nimellä ”Goods-to-Man” eli tuotteet tuodaan ihmisen lähelle, eikä ihmisen tarvitse siirtyä kerätäkseen tuotetta. Tällä tavalla saadaan säästettyä aikaa, varastoitua enemmän tavaroita ja työ on ergonomisesti miellyttävämpää.



Kuva 1. Paternoster-varastoautomaatti (Kasten Oy).

Satmaticin varastoautomaattia lähdettiin modernisoimaan, koska vanha järjestelmä oli alkanut käydä epäluotettavaksi. Häiriöitä syntyi esimerkiksi hätäpysäytystilanteesta palautuessa sekä käynnistyksen aikana. Lisäksi käytössä oleva tekniikka, kuten

piirilevyille toteutettu logiikka, oli vanhentunutta. Ongelmatilanteen korjaaminen olisi saattanut kestää pitkään ja olla kallista. Pahimmassa tapauksessa häiriö ja sen korjaus olisivat voineet pysäyttää koko tuotannon.

Opinnäytetyönä aihe oli erittäin mielenkiintoinen, hyvin laaja ja haastava. Työhön sisältyivät käytännössä kaikki automaatioprojektin osa-alueet myyntiä lukuun ottamatta. Sähkö- ja ohjelmistosuunnittelu olivat tutumpia osa-alueita, mutta koneturvallisuus ja siihen liittyvä lainsäädäntö sekä komponenttien valinta ja mitoitus olivat uusia ja haastavia. Kaiken kaikkiaan sain käyttää kaikkia projektissa oppimiani taitoja ja tietoja sekä perehtyä moniin uusiin asioihin. Koen, että projekti oli erinomainen askel matkallani tekniikan ammattilaiseksi.

Lopuksi haluaisin kiittää Jari Ruohomäkeä, Lauri Anttilaa ja koko Satmaticin väkeä sekä Timo Suvelaa tuesta projektin eri vaiheissa ja hyvästä työilmapiiristä. Ilman näiden ihmisten tukea projekti ei olisi koskaan valmistunut.

2 PROJEKTIN MÄÄRITTELY

2.1 Projektin vaiheet

Projektin tehtävät voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäiseen vaiheeseen kuuluu vanhaan järjestelmään tutustuminen, sen toiminnan ja modernisointimahdollisuuksien selvittäminen. Toiseen vaiheeseen kuuluu modernisoinnin toteutustapojen selvittäminen, näistä parhaimman valinta, sähkö-, turvallisuus- ja ohjelmistosuunnittelu sekä näiden suunnitelmien pohjalta tehtävä materiaalin kilpailutus ja hankinta. Kolmannessa vaiheessa laitteisto ja ohjelmisto kasataan testikokoonpanoksi ja laitteiston toiminnallisuus testataan. Testien jälkeen suunnitellaan ja toteutetaan käyttöönotto.

Modernisointiprojektilla pyritään pidentämään Paternoster-varastoautomaatin käyttöikää, lisäämään sen käyttömukavuutta ja -tehokkuutta, parantamaan käyttöastetta ja toimintavarmuutta sekä helpottamaan integrointia yrityksen tiedonhallintajärjestel-

miin, kuten Oscariin. Projektin vaatimusten kannalta oli tärkeää, että kaikilla osa-alueilla saavutetaan vähintään vanhan järjestelmän taso ja parannuksia tehdään mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tärkein yksittäinen tavoite oli ohjausjärjestelmän uusimisen toteuttaminen moderneilla laitteilla.

2.2 Projektin riskit

Projekti oli hyvin laaja ja sisälsi useita vaativia tehtäviä. Yksi riskeistä oli, ettei osaamiseni ole riittävä ja projekti keskeytyisi jossakin vaiheessa. Paternoster-varastoautomaatti on tuotantokäytössä. Epäonnistunut tai viivästynyt projekti olisi saattanut aiheuttaa tuotannon hidastumista tai jopa sen keskeytymisen ja siten aiheuttaa taloudellisia tappioita. Koneturvallisuusratkaisut vaikuttavat merkittävästi laitteen käyttöturvallisuuteen ja niiden epäonnistunut toteuttaminen olisi pahimmillaan saattanut aiheuttaa vaaraa työntekijöiden terveydelle.

2.3 Projektin resurssit

Projektiin ei ollut laskettu työaikaa, koska sen arvioiminen olisi ollut äärimmäisen haastavaa. Projekti toteutettiin muiden asiakkaille myytyjen projektien ohessa. Vanhaa järjestelmää tutkittaessa alkuperäisiä suunnitelmia, sähkökuvia, ohjelmia tai käyttöohjeita ei ollut käytettävissä. Projektin kustannukset pyrittiin pitämään mahdollisimman alhaisina ja siksi projektissa pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman paljon vanhan laitteiston osia ja varastosta löytyneitä komponentteja.

3 VANHAN JÄRJESTELMÄN KUVAUS

Vanhassa järjestelmässä liikkeenohjaus oli toteutettu kontaktorihjatulla 2-nopeusmoottorilla. Tätä järjestelmää oli siten mahdollista ajaa ylös- ja alaspäin kahdella eri nopeudella. Nopeudenmuutos ei tapahtunut hallitulla rampilla, vaan äkillisesti, riippuen nopeuden muutosta vastustavasta momentista.

Hyllyjen paikoitusta seurataan kolmella induktiivisella anturilla ja hyllyihin kiinnitetyillä häirtälevyillä. Erikoisuutena tässä ratkaisussa on, että häirtälevyt on kiinnitetty aina ylempään hyllyyn. Esimerkiksi tilanteessa, jossa varsinaisessa hyllyssä on kaksi välilevyä, olisi ylemmässä hyllyssä tällöin 3 häirtälevyä. Jos välilevyjä ei olisi ollenkaan varsinaisessa hyllyssä, niin ylemmässä hyllyssä olisi silloin vain yksi häirtälevy. Nämä anturitiedot välitettiin piirilevyille, joka laskemalla seurasi hyllyjen sijaintia.

Käyttäjän syötettyä halutun hyllyn numeron ohjauspaneelille, logiikka ajoi hyllyjä joko ylös- tai alaspäin riippuen siitä, kumpaan suuntaan hyllyjä oli vähemmän ajettava. Moottoria ajettiin täydellä nopeudella, kunnes yhtä hyllyä aiemmin vaihdettiin hitaammalle nopeudelle. Häirtälevyn tullessa anturille ja hyllyn ollessa keräilykorkeudella moottorin ohjaus lopetettiin ja jarru suljettiin, jolloin hyllystö pysähtyi hyvin nopeasti. Tämä on yksinkertainen tapa ohjata hyllyjen ajoa. Häirtäpuolena ovat nopeuden äkilliset muutokset, jotka aiheuttivat turhaa rasitusta mekaniikalle sekä liikkuvat ja välillä jopa pudottivat tavaroita hyllyiltä.

4 LAINSÄÄDÄNTÖ

Yksi projektin haastavimmista osa-alueita oli selvittää, mitkä lait ja asetukset koskevat tätä projektia ja miten niitä tulisi tulkita. Tärkein yksittäinen asia oli selvittää syntyykö modernisoinnin seurauksena uusi kone vai ei. Jos kyseessä olisi uusi kone, syntyisi siitä huomattavia juridisia velvoitteita. Tällöin pitäisi suunnittelussa noudattaa kaikkia konedirektiivin asettamia vaatimuksia. Koneen valmistajan olisi varmistettava, että kone täyttää kaikilta osin konedirektiivin turvallisuusvaatimukset ja osoitettava koneen vaatimustenmukaisuus vaatimustenmukaisuusvakuutuksella (Sundquist 2010, 4).

Paternoster-varastoautomaatin kohdalla on kyse modernisoinnista. Olennainen seikka modernisoinnin ja uuden koneen rakentamisen välillä on koneen elinkaaren jatkuminen. Modernisoinniksi ei esimerkiksi voida laskea tilannetta, jossa vanha kone pure-

taan ja uusi valmistetaan usean vanhan koneen osista. Myöskään uudistuksia, joissa koneen käyttötarkoitus muuttuu tai muutos on muuten merkittävä, kuten esimerkiksi aikaisemmin ihmisen ohjaamaan tuotantolaitteen muuttaminen automaattiseksi, ei enää lasketa modernisoinniksi. Modernisoinnin tunnusmerkkejä ovat esimerkiksi uusien lisälaitteiden tai ominaisuuksien lisääminen sekä automaation tai sähköistyksen uusiminen. Koneen kunnostaminen, osien vaihtaminen, lisälaitteiden asentaminen ja uusien turvalaitteiden asentaminen luetaan myös modernisoinniksi. (Sundquist 2010, 5.)

Parantuneiden suoritusarvojen lisäksi modernisointia puoltaa työturvallisuuslaki, jonka mukaan työpaikan työnantaja on vastuussa työpaikan koneiden turvallisuudesta. Koneet on pidettävä huollolla ja kunnossapidolla turvallisina niiden käyttöajan. Lisäksi työnantajan on jatkuvasti pyrittävä parantamaan työpaikan koneiden turvallisuutta ja vähentämään koneiden käyttöön liittyviä riskejä. (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738, § 8)

Modernisoinnista ja koneeseen tehtävissä muutoksissa on otettava huomioon, ettei koneen turvallisuustaso saa laskea. Huomioitava on myös, että kaikkia käytössä olevia koneita koskevat koneiden turvallisuuden perusvaatimukset.

Modernisointiprojektissa turvallisuusvastuut jakautuvat toteuttajan eli urakoitsijan, alihankkijoiden ja tilaajan kesken. Kukin osapuoli on omalta osaltaan vastuussa lopputuloksen turvallisuudesta. Urakoitsijan tehtävänä on toteuttaa turvallinen tilaus tai ilmoittaa tilaajalle turvallisuuspuutteista. Tilaaajan on modernisointia tilatessaan selvitettävä siihen liittyvät turvallisuusnäkökohdat ja on lisäksi vastuussa tilauksenmukaisen toteutuksen turvallisuudesta. Tilaaajan on tilattava toimitus sellaiselta taholta, jolla on valmiudet turvallisen lopputuloksen aikaansaamiseen. (Sundquist 2004, 3.)

5 KONETURVALLISUUS

Vanhassa järjestelmässä koneturvallisuus oli otettu hyvin huomioon ja käytetyt ratkaisut olivat toimivia, joten modernisointiprojektin turvallisuusratkaisuissa lähdettiin liikkeelle niiden pohjalta. Koneturvallisuuden suunnittelun apuna käytettiin standardia SFS-EN ISO 12100 ”Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen”.

Vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi toteutettiin koneen käyttäjien, heidän esimiehensä, suunnittelijan ja työsuojeluvaltuutetun välisessä kokouksessa (liite 3). Alkuperäinen paternoster on hyvin suunniteltu ja turvallinen laite. Vaarojen tunnistamisessa ja riskien arvioinnissa ei löydetty tarvetta uusille turvallisuusratkaisuille, vaan modernisoinnissa turvallisuuden varmistamiseksi riitti vanhojen turvakomponenttien korvaaminen uusilla.

Modernisointiprojektissa paternosterista vaihdettiin valoverhot, turvalogiikka, moottorin jarrua ohjaavat kontaktorit ja moottoria ohjaava taajuusmuuttaja. Laitteiden kytkentä on nähtävissä liitteessä 1. Turvalogiikkaan päädyttiin, Omronin G9SP-sarjan laitteeseen, koska turvallisuuteen liittyviä ohjauskohteita oli useita. Turvalogiikan tärkeimpiä tehtäviä ovat moottorin taajuusmuuttajan ohjaus, moottorin jarrun kytkeminen ja valoverhojen ohittaminen laitteen ollessa pysähtyneenä. Turvalogiikka siis käyttää huomattavan määrän digitaalisia tulo – ja lähtötietoja. Vastaava ratkaisu olisi ollut mahdollista toteuttaa myös turvareleellä, mutta se olisi ollut epäkäytännöllisempää. Lisäksi turvalogiikka helpottaa muutosten tekemistä ja on huomattavasti kätevämpi esimerkiksi laitetta laajennettaessa.

Standardi ”SFS-EN ISO 13855, Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet” ohjeistaa luvussa 6 valoverhojen ja muiden koskematta tunnistavien valosähköisten turvalaitteiden vähimmäisetäisyydet vaarallisiin kohteisiin. Turvaetäisyyden laskentakaava laitteille, joiden tunnistin havaitsee kappaleen, jonka halkaisija on pienempi tai yhtä suuri kuin 40mm, on $S=(K*T)+C$. Kaavassa $K= 1600\text{mm/s}$, $C=8(d-14)$, d = laitteen havaitsemiskyky milimetreinä. Valoverhojen havaitsemiskyky on 25mm ja laitteen pysähtymiseen täy-

destä vauhdista menee noin 0,5 sekuntia. Näillä arvoilla standardin määrittämäksi turvaetäisyydeksi saadaan hieman alle 90 cm. (SFS-EN ISO 13855 2010, 28.)

Hieman alle 90 senttimetrin etäisyys valoverhojen ja keräilyaukon välillä estäisi laitteen järkevän käytön. Näin suurta etäisyyttä ei myöskään ole mahdollista sisällyttää koneen rakenteeseen. Lisäksi muuttujien arvoja, kuten koneen pysähtymisaikaa ei ole järkevillä panostuksilla mahdollisuutta muuttaa niin paljoa, että päästäisiin standardin suosittamiin etäisyyksiin. Standardin kuvassa 1 ratkaisu tähän tilanteeseen on käyttää riskien arviointiin perustuvia täydentäviä suojausteknisiä laitteita (SFS-EN ISO 13855 2010, 20).

Koska kyseessä ei ole laite, joka aiheuttaa vaaran heti kosketettaessa, kuten sirkkeli tai rullapuristin, katsottiin koneen käytön olevan turvallista ilman, että standardin suosittama etäisyys täyttyi. Paternosterin rakenteet ovat suunniteltu siten, että käden joutuessa pyörivään laitteeseen, sille ei heti tapahdu vahinkoa. Tämän vuoksi koneella on pidempi aika pysähtyä, ennen kuin tapahtuu fyysistä vahinkoa. Näiden seikkojen pohjalta arvioitiin, että kyseessä on ”riittävä riskin pienentäminen” ja koneen käytön katsottiin olevan turvallista (SFS-EN ISO 12100 2010, 50).

6 MOOTTORIKÄYTTÖ JA OHJAUS

Vanhassa järjestelmässä kaksikäämistä kaksinopeusmoottoria ohjattiin kontaktoreilla. Ongelmana tässä ratkaisussa olivat rajut nopeuden muutokset, jotka toisinaan saattoivat jopa tiputtaa huonosti hyllyssä olleita tavaroita.

Uutta järjestelmää suunniteltaessa mietittiin muutamia ratkaisuvaihtoehtoja. Helpoin ja halvin vaihtoehto olisi ollut jättää moottoriohjaus ennalleen, jolloin projektin tavoitteisiin luotettavuuden suhteen olisi päästy, mutta toisaalta järjestelmään ei olisi tullut laitteen käytettävyyttä parantavia muutoksia.

Moottorin kontaktorihjauksesta seuraava askel parempaan olisi moottorin ohjaaminen taajuusmuuttajaa hyödyntäen. Taajuusmuuttajan kanssa ongelmana oli käytössä olevan moottorin ikä. Moottorin valmistaja ei osannut sanoa, kestäkö moottori taajuusmuuttajakäyttöä, sillä sen ikäisiä moottoreita ei ollut suunniteltu tähän käyttötaroitukseen. Uuden moottorin hankinta olisi ollut yksi mahdollisuus, mutta tämä olisi lisännyt projektin hintaa huomattavasti. Lisäksi moottorin sovittaminen vanhaan mekaniikkaan vaihteistoiin ja jarruihin olisi ollut haastavaa ja aikaavievää.

Taajuusmuuttajakäyttöä tarkempi ja monipuolisempi ratkaisu olisi ollut servomoottori. Servokäyttö olisi tullut huomattavasti kalliimmaksi, koska silloin olisi pitänyt hankkia servomoottori ja -ohjain sekä servo-ohjaimen kanssa yhteensopivat logiikka- ja ohjelmistopakettit. Servokäytön avulla hyllyt olisi ollut mahdollista ajaa äärimmäisen tarkasti halutulle korkeudelle ja halutulla nopeudella. Lisäksi moottorin momentti ja siten hyllystön kuorman epäsymmetrisyys olisi ollut helposti selvitettävissä. Servomoottoriin sisäänrakennetun anturin ansiosta ei erillistä anturia olisi tarvinnut ostaa ja asentaa. Servokäytön tarkkuudesta saatuja etuja ei katsottu tarpeellisiksi ja siksi servovaihtoehdon hinta/laatu-suhde tässä projektissa jäi melko huonoksi. Käytettävä erikoisohjelmisto olisi myös ollut haastava opeteltava ja lisännyt siten projektin kustannuksia ja epävarmuustekijöitä.

Taajuusmuuttajavaihtoehto valittiin projektiin, koska sen tarjoamat ominaisuudet vastasivat hyvin projektin vaatimuksia ja se oli myös kustannuksiltaan edullinen. Lisäksi päätettiin, että testataan vanhan moottorin yhteensopivuutta taajuusmuuttajan kanssa ja uusi moottori hankitaan vain, jos moottori ja taajuusmuuttaja osoittautuvat yhteensopimattomiksi. Sopivan laitteen löytämiseksi vertailtiin useita laitevalmistajia ja kokemuksia laitteista. Lopulliseen vertailuun päätyi Omronin ja Siemensin laitteita. Pohdittuja malleja olivat esimerkiksi Siemensin uusi G120 taajuusmuuttaja ja Omronin JX-sarjan tuotteet.

Kun taajuusmuuttajan valintaa vielä pohdittiin, sattui Satmaticin kiertämättömästä varastosta löytymään vanhasta projektista tarpeettomaksi jäänyt taajuusmuuttaja. Löytynyt Unidrive SP2402 on 11kW taajuusmuuttaja ja siten ylittävän projektin 4,8 kW:n moottoriin. Koska taajuusmuuttaja oli ylijäämätavaraa, oli se hyvin edullista ottaa projektiin. Lisäksi tämä tuki Satmaticin tavoitetta vähentää varastoon sitou-

tunutta pääomaa ja päästä eroon kiertämättömästä varastosta. SP2402 oli myös ominaisuuksiltaan sopiva vaihtoehto projektiin. Hyödyllisiä piirteitä olivat muun muassa Safe Disable –toiminto, jolla taajuusmuuttaja saadaan turvallisesti vääntömomentittomaan tilaan. Tässä projektissa turvalogiikka ohjaa hätäseis-tilassa taajuusmuuttajan momentittomaan tilaan.

7 SIIRTYMÄANTURI

7.1 Tausta

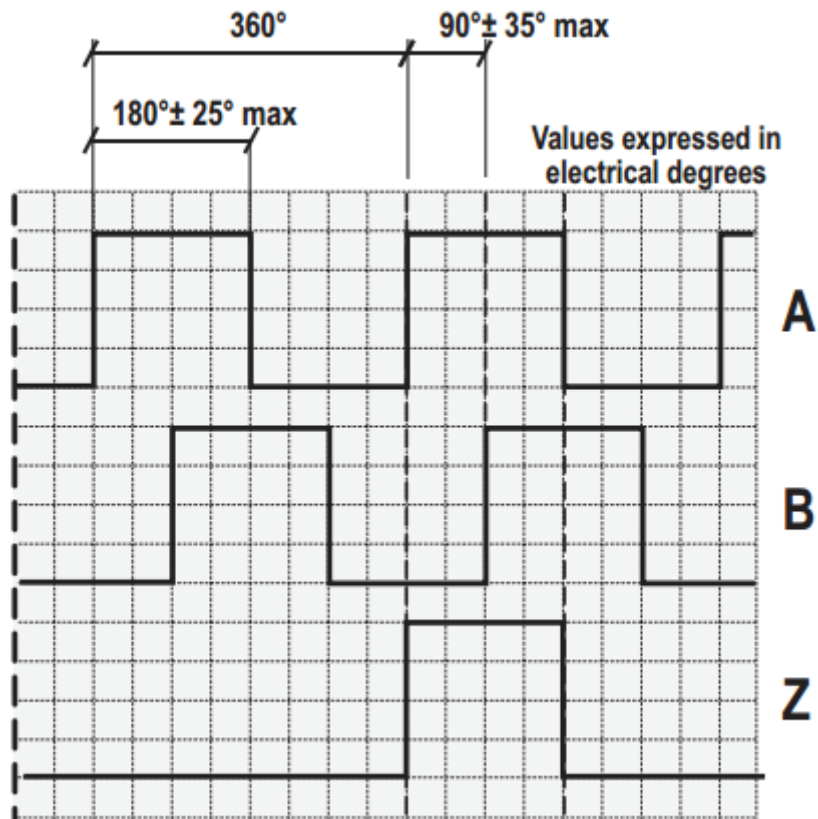
Automaattisen ohjauksen toteuttamiseksi tarvitaan tietoa järjestelmän tilasta. Tähän tarkoitukseen on kehitetty lukuisia eri mittaustapoihin ja -tekniikoihin perustuvia antureita. Paternoster-varastoautomaatin siirtymäanturin valintaan oli kaksi lähestymistapaa, joko yksittäisten hyllyjen läsnäolon tunnistaminen tai moottorin kiertymän mittaaminen.

Hyllyjen läsnäolon tunnistaminen on mahdollista toteuttaa yksinkertaisilla ja luotettavilla antureilla, kuten esimerkiksi induktiivisella anturilla ja metallisilla haittalevyillä. Edellä mainittujen etujen lisäksi tämä ratkaisu olisi suhteellisen halpa. Haittapuolena, pelkästään hyllyjen läsnäoloa tunnistavalla anturilla, on erityisesti huono resoluutio, jonka vuoksi hyllyjen hidastaminen poimintakohdalle ajettaessa on mahdollista vain hyvin karkeasti. Huonon resoluution vuoksi myös häiriöt pulssien laskussa aiheuttavat suuremman virheen.

Moottorin kiertymän mittaamiseen on kaksi yleistä tapaa, joko absoluuttinen tai inkrementaalinen mittaaminen. Absoluuttinen paikanmittaus soveltuu tilanteisiin, joissa suurin mahdollinen liikelaajuus on rajoitettu. Näin voidaan varmistaa, ettei anturin suurin sallittu kierrosmäärä ylitä. Jos anturin suurin sallittu kierrosmäärä ylittyy, tapahtuu livuoto, joka sekoittaa mittauksen.

Inkrementaalianturi on toimintaperiaatteeltaan yksinkertaisempi ja anturi on siten myös halvempi. Inkrementaalianturia käytetään yleisesti moottorin pyörimisnopeu-

den mittaamiseksi. Nopeaa pulssilaskuria hyödyntämällä on myös mahdollista mitata siirtymä. Pääasiallinen tieto inkrementaalianturilta saadaan a- ja b-signaalin muodossa. Näillä signaaleilla on 90° vaihe-ero, jonka avulla on mahdollista määrittää moottorin pyörimissuunta. Lisäksi on mahdollista saada z-signaali, joka kertoo täysistä kierroksista. (Kuva 2.)



Kuva 2. Inkrementaalianturin signaalit ja vaihesiirto (Eltra 2008).

7.2 Anturin valinta

Modernisointi projektin tavoitteena oli mahdollisuus ajaa hyllyjä tasaisemmin, jolloin varastoidut tavarat eivät äkkinäisten liikkeiden johdosta siirry hyllyillä. Tarkemmalla tiedolla jäljellä olevasta matkasta on mahdollista rampittaa nopeus pehmeämmin ja estää tavaroiden liike hyllyillä. Jos tiedossa on vain viimeksi kohdalla ollut hylly, on rampittaminen vaikeampaa. Kun hyllyjen väliset etäisyydet eivät ole

vakioita, vaan vaihtelevat suuresti, pitäisi jarrutuksen voimakkuuden vaihdella huomattavasti tai se pitäisi mitoittaa lyhyimmän välin mukaan, jolloin jarrutuksesta tulisi tarpeettoman voimakas suurimpaan osaan hyllyväleistä.

Absoluuttinen paikan mittaaminen ei ole toimiva ratkaisu, koska mekaniikan liikelaaajuutta ei ole rajoitettu. Vaikka kestäisikin pitkään, että esimerkiksi 13 bitillä kierrokset esittävä anturi ylivuotaisi, on tämä tilanne kuitenkin jossakin vaiheessa edessä. Lisäksi absoluuttianturit ovat kalliita komponentteja, joten niitä ei kannata käyttää sovelluksissa, joihin ne eivät sovellu erinomaisesti.

Inkrementaalianturi olisi tähän projektiin hyvin soveltuva anturiratkaisu. Huono resoluutioisella anturillakin saatava tarkkuus olisi huomattavan suuri suhteessa vanhan järjestelmän resoluutioon etenkin, koska järjestelmässä on suuri alennusvaihteisto. Lisäksi anturin tiedoista selviäisi pyörimissuunta ja z-signaalia voisi käyttää virheen korjaukseen, jos joku pulsseista katoaisi. Inkrementaalianturia ei valittu, koska sen kiinnittäminen osoittautui ongelmalliseksi. Anturi pitää kiinnittää mekaanisesti jonkin pyörivän akselin päähän, yleensä suoraan moottoriin. Nyt moottorin toisessa päässä oli jarru ja toisessa vaihteisto. Paternosterin oikealla puolella oleva vaihteisto ja rattaat ovat niin lähellä koneen rungon peltejä, ettei asennukselle ollut tilaa **(Error! Reference source not found..** Ainoa vaihtoehto olisi ollut muokata suoja-peltejä niin, että anturi olisi mahtunut niistä läpi ja tullut osittain koneen rungon ulkopuolelle.

Koska inkrementaalianturia ei ollut käytännöllistä asentaa, piti sen tilalle keksiä vaihtoehtoinen ratkaisu. Ajatuksena oli saada laskettua pulsseja koneen pyörivistä metalliosista. Vaihtoehtoina oli induktiivinen anturi tai valoportti. Induktiivisen anturin ongelmaksi katsottiin pieni tunnistusetäisyys ja siitä johtuvat mahdolliset ongelmat virheellisen tunnistamisen ja oikean etäisyyden löytämisen kanssa. Valoportin ongelmaksi katsottiin mahdollisuus likaantua, mutta koteloidussa tilassa siistissä sisähallissa tämä riski arvioitiin pieneksi. Valoportin etuna oli erityisesti helppo asennus ja halpa hinta. Valoporttianturi on inkrementaalianturiin verrattuna hieman halvempi, mutta suuremman eron aiheuttaa inkrementaalianturin tarvitsema erikoistulokortti ohjelmoitavaan logiikkaan, joka käytännössä kaksinkertaistaa anturikokonaisuuden hinnan. Projektiin valittiin Schneiderin optinen haarukka-anturi (liite 2) ja se sijoitet-

tiin niin, että se laskee voimansiirtoketjun ketjutappeja (Kuva 3. Oikea puoli: valoportti, taajuusmuuttaja ja mekaniikka.. Puutteena tässä ratkaisussa on, ettei anturin avulla ole mahdollista selvittää järjestelmän pyörimissuuntaa. Mekaanisten ratkaisujen heikkoudet joudutaan yleensä korjaamaan ohjelmallisesti ja tässä tapauksessa arvioitiin, että ratkaisu on helposti toteutettavissa, joten anturilta saadun suuntatiedon puuttumisen ei pitäisi olla ongelma.



Kuva 3. Oikea puoli: valoportti, taajuusmuuttaja ja mekaniikka.

8 LOGIIKKA

8.1 Logiikan valinta

Vanhan piirilevylle rakennetun ohjausjärjestelmän tilalle piti saada uusi ohjausjärjestelmä. Ohjaus olisi ollut mahdollista toteuttaa esimerkiksi mikroprosessorilla tai tietokoneella, mutta kumpaakaan näistä ei kovin vakavasti edes mietitty. Mikroprosessorin etuna olisi edullinen hinta ja tietokoneella hyvä liitettävyyys ylemmän tason järjestelmiin, kuten käytössä olevaan ERP-järjestelmään Oscariin. Ongelmana molemmissa on ohjelmistokehityksen hitaus ja monimutkaisuus verrattuna PLC-ohjelmointiin. Koska on kyse projektista, eikä tarkoituksena ole kehittää myytävää tuotetta, jolloin räätälöity piirilevy tai pitkälle kehitelty ohjelmisto olisi perusteltavissa, ei näihin ratkaisuihin haluttu lähteä. Projektimaiseen työskentelyyn suunnitellun ohjelmoitavan logiikan muita etuja olivat oma kokemukseni logiikoiden ohjelmoinnista sekä firman sisällä oleva osaaminen ja kokemus kyseisistä laitteista.

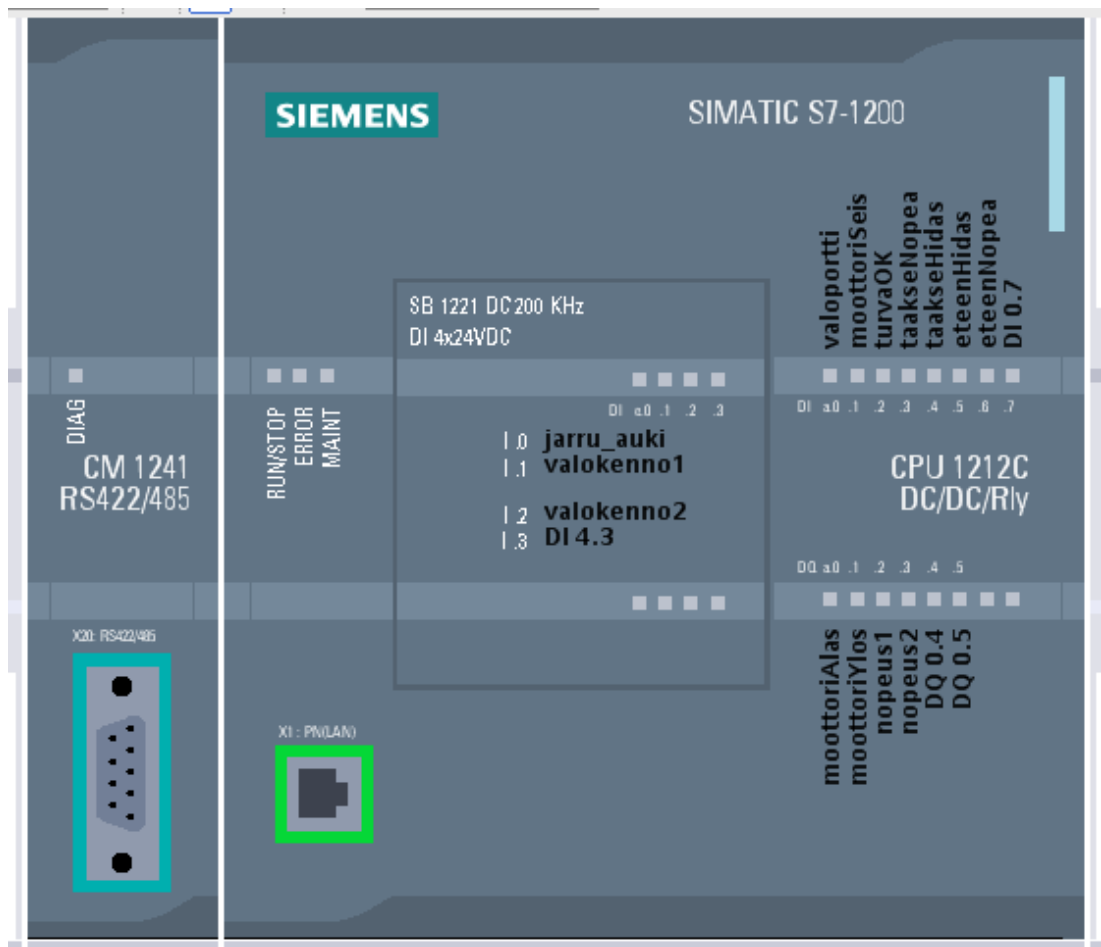
Laitteen toimittajaksi oli kaksi vartenotettavaa vaihtoehtoa: Beckhoff ja Siemens. Alustavien hinta-arvioiden perusteella Beckhoffia käyttävät kokoonpanot osoittautuivat jonkin verran Siemensiä kalliimmaksi, suurimmaksi osaksi hieman suuremmista ja osittain laadukkaammista paneelivaihtoehdoista johtuen. Lisäksi Satmaticilla on paljon kokemusta Siemensin logiikoista, ja vaikka Beckhoffin laitteista haluttiin myös kerryttää projektikokemusta, ei projektiin haluttu tuoda lisää epävarmuustekijöitä. Lopullinen päätös syntyi, kun Satmaticin kiertämättömästä varastosta löytyi Siemensin ”KTP600 basic mono pn” –kosketuspaneeli, joka oli ominaisuuksiltaan täysin riittävä projektiin. Koska paneeli oli kiertämättömässä varastossa, se oli edullinen valinta projektiin ja lisäksi sopi hyvin yrityksen tavoitteisiin vähentää varastoon sidotun pääoman määrää.

Siemens tarjoaa kolmea logiikkaperhettä: 1200-, 300- ja 400-sarjaa. Näistä 1200-sarja on uusin ja tarkoitettu yksinkertaisempiin ja kevyempiin sovelluksiin, kuin vaativaan teollisuuskäyttöön suunnitellut 300- ja 400-sarjalaiset. Lisäksi 1200-sarjan logiikasta ja sen ohjelmointiin käytettävästä TIA-portaalista haluttiin käyttökoke-

sia. 1200-sarjan logiikoissa on useita vaihtoehtoja, joissa suurimmat erot ovat tarjottavien tulo- ja lähtösignaalien määrässä ja laadussa.

Projektiin valittiin CPU 1212C niminen malli, joka toimii 24 voltin jännitteellä. 1212C logiikassa on kahdeksan digitaalista 24 voltin tuloa, kuusi digitaalista, enintään kaksi ampeerin relelähtöä ja kaksi analogista tuloa. Logiikka valittiin tarvittavien liitännöiden alustavan arvion perusteella. Projektin edetessä ja muiden laitevalintojen, sekä niiden välisten liityntöjen, tarkennuttua huomattiin, että liitännöitä ei ollut riittävästi. Logiikkaan tarvittiin lisä I/O-kortti, joka normaalisti liitetään logiikan kylkeen, sen oikealle puolelle. 1200-sarjassa vaihtoehtona on lisäksi logiikan päälle erikseen liitettävä pienikokoinen ja edullinen liityntäkortti.

Normaalisti tulokortit ovat tyypiltään ”sinking”, jolloin digitaalinen tulo on aktiivinen, kun siihen johdetaan positiivinen jännite. Tämän lisäksi käytössä on harvinaisempi ”sourcing”-tyyppinen tulokortti, joka aktivoituu, kun tuloon johdetaan negatiivinen jännite, normaalisti 0 voltia. Erityyppisten tulokorttien kanssa pitää olla tarkkana, sillä kaikki anturit eivät toimi yhteen molempien tyyppisten tulojen kanssa. Väärän tyyppiset tulokortit aiheuttavat varsinkin asennus- ja käyttöönottovaiheessa helposti ongelmia, jotka saattavat olla vaikeita huomata, jos tämä asia ei ole tiedossa. Jos projektiin on vahingossa tilattu vääräntyyppinen osa, saattaa ainoana mahdollisuutena olla uuden tilaaminen. Uuden osan tilaamiseen menee huomattavasti aikaa ja se sotkee pahasti käyttöönottoa. Tässä projektissa logiikan päälle liitettäväksi tulokortiksi oli tarjolla ainoastaan ”sourcing”-tyyppisiä kortteja. Tätä asiaa ei huomattu osia tilatessa ja siitä aiheutui päänvaivaa käyttöönotossa. Hyväksi onneksi anturit, jotka tähän korttiin oli suunniteltu liitettäväksi, toimivat yhdessä kortin kanssa ja jarrun kontaktorilta saatava ”normaalisti auki”-kosketintieto oli helppo vaihtaa +24 voltista tekniseen maahan.



Kuva 4. Siemens kommunikaatiomoduli, logiikka ja tulokortti.

8.2 Ohjelman tehtävät

Kun minulle tarjottiin tätä projektia, ajatukseni oli, että logiikan ohjelmointi olisi projektin työläin osa. Jo projektin alkuvaiheessa oletukseni osoittautui vääräksi ja vahvistui, kun ohjelma oli valmis ja otettu käyttöön. Projektin kannalta ohjelma on tärkeä, mutta yksinkertainen osa. Pelkistetysti sen tehtävänä on välittää käyttäjän käskyt taajuusmuuttajalle.

Hieman monimutkaisemmaksi tilanteen tekee käyttäjän mahdollisuus selata hyllyjä syöttämällä operointipaneelille haluttu hyllyn numero, jonka jälkeen logiikka ajaa halutun hyllyn automaattisesti poiminta-aukolle. Tätä ominaisuutta varten logiikan

on tiedettävä, missä asennossa hyllystö on, missä kohdassa haluttu hylly on ja mihin suuntaan hyllystöä pitää ajaa, jotta ajettava matka jäisi mahdollisimman lyhyeksi.

8.3 Logiikan ja taajuusmuuttajan välinen rajapinta

Logiikan ja taajuusmuuttajan välinen fyysinen rajapinta on kuvattu liitteessä 1, lehdellä 2/3. Rajapinta on toteutettu kahdella tavalla. Nopeus- ja suuntaohje kulkevat binäärisenä I/O-tietona. Suuntaohje annetaan kahdella bitillä, joko eteen tai taakse. Nopeusohje käyttää myös hyväksi kahta bittiä, joiden avulla voidaan valita yksi neljästä esiasetetusta nopeusohjeesta. Diagnostiikkatieto kulkee RS485 väylässä käyttäen hyväksi Modbus RTU – protokollaa. Taajuusmuuttajan diagnostiikasta käyttäjälle kerrotaan kosketuspaneelin avulla esimerkiksi taajuusmuuttajan virhetiloista ja moottorin virrasta. Moottorin virtatiedosta selviää, jos hyllyillä on liian paljon painoa tai ne on kuormattu liian epäsymmetrisesti.

Koko logiikan ja taajuusmuuttajan välinen rajapinta olisi ollut mahdollista toteuttaa pelkästään RS485 väylää hyödyntäen, mutta silloin kommunikaatioon vaaditusta ohjelmasta olisi tullut huomattavasti monimutkaisempi. Jos käytössä olisi ollut logiikan paremmin tukema väylätekniikka kuten Profibus tai Profinet ja käytössä olisi useampia ohjattavia kohteita, olisi vain väylää hyödyntävä ratkaisu ollut käytännöllisempi. Tässä tapauksessa haluttiin ohjaus toteuttaa rinnakkaisia digitaalisia kytkentöjä hyödyntäen, koska näin toteutettu ohjaus on sekä yksinkertaisempi että toimintavarmempi. Yksinkertaisuus ja toimintavarmuus olivat merkittäviä etuja, sillä projektissa haluttiin välttää mahdollisuuksien mukaan epävarmuuksia, joita oli kertynyt muiden osa-alueiden ratkaisuista, kuten esimerkiksi anturin valinnasta. Haittapuolena tässä ratkaisussa oli lisääntynyt kytkentöjen ja johtimien määrä sekä käyttöönottoon kuluva aika.

8.4 Hyllyjen automaattinen ajo

Ohjelmallisesti yksi projektin vaativimmista osista oli mahdollisuus ajaa haluttu hylly automaattisesti keräilyaukolle. Vanhassa ohjelmassa hyllyjä ajettiin siihen suuntaan, jossa ajettavia hyllyjä oli määrällisesti vähemmän, hitaampi nopeus otettiin

käyttöön yhtä hyllyväliä ennen haluttua hyllyä ja jarru aktivoitiin, kun oikea hylly vaikutti anturiin. Uusi ratkaisu noudattelee melko tarkasti vanhan ratkaisun periaatteita. Jokaiselle hyllylle on tallennettu sen sijainti pulsseina HylllyData nimiseen data blockkiin (DB7) HylllyTaulukko-tiluktoon. Esimerkiksi hylly numero 9 sijaitsee kohdassa 68, eli Siemensin syntaksilla ”HylllyData”.HylllyTaulukko[9]=68. TIA portaalissa käytössä olevat korkeammat ohjelmointikielet, kuten SCL ja mahdollisuus käyttää taulukkoja helpottavat huomattavasti ohjelmointia. Nyt hyllyn sijainti on mahdollista saada syöttämällä yksi muuttuja taulukon indeksiksi, kuten on tehty HylllyValitsin-ohjelmassa rivillä 11. Jos käytössä olisi vain FB- tai LAD-kielet olisi tämän toiminnon toteuttaminen huomattavasti monimutkaisempaan. Lisäksi HylllyValitsin-ohjelma tarkastaa, että käyttäjän antaman syöte on sallitulla alueella, eli valituna on hylly, joka oikeasti on olemassa.

HylllyValitsin [FC4]

```
0001 (*
0002 HylllyValitsin
0003 Funktioon syötetään halutun hyllyn numero ja se lukee hyllyn
sijainnin pulsseina
0004 HylllyData.HylllyTaulukko[]:sta
0005 *)
0006 IF NOT #aja THEN
0007 #valmis:=false;
0008 #virhe:=false;
0009 ELSIF (#HylllyNRO >= 1 AND #HylllyNRO<= "HylllyDa-
ta".viimeinenHyllly) THEN
0010 // Jos hylly on oikealta alueelta
0011 #HylllyValitsin:="HylllyData".HylllyTaulukko[#HylllyNRO];
0012 #valmis:=true;
0013 #virhe:=false;
0014 ELSE
0015 #HylllyValitsin:="HylllyData".paikka;
0016 #valmis:=false;
0017 #virhe:=true;
0018 END_IF;
```

Kun tiedetään missä haluttu hylly sijaitsee, täytyy vielä selvittää, kumpaan suuntaan ajettaessa kohteeseen on lyhempi matka. HylllyOhjain-ohjelma laskee etäisyyden haluttuun kohteeseen. Jos ajettava matka on enemmän kuin puolet koko hyllystön mista, on nopeampaa ajaa toiseen suuntaan.

HylllyOhjain [FC5]

```
0001 (*
```

```

0002 "HyllyOhjain"
0003 Laskee matkan ja suunnan automaattiselle hyllyn vaihdolle
0004 *)
0005
0006 #matka:=#kohde-#paikka;
0007
0008 IF #matka>(#maxPituus/2) THEN
0009 //Ajamalla taaksepäin matka on lyhyempi
0010 #matka:=-1*#maxPituus+#matka;
0011 ELSIF #matka<(-1*#maxPituus/2) THEN
0012 //Ajamalla eteenpäin matka on lyhyempi
0013 #matka:=#maxPituus-#matka;
0014 END_IF;
0015
0016
0017 //Lisää tarvittaessa hystereesi
0018 IF #matka>0 THEN
0019 #eteen:=true;
0020 #taakse:=false;
0021 ELSIF #matka<0 THEN
0022 #eteen:=false;
0023 #taakse:=true;
0024 ELSE
0025 #eteen:=false;
0026 #taakse:=false;
0027 #valmis:=true;
0028 END_IF;
0029
0030 #etaisyys:=ABS(#matka);

```

8.5 Siirtymän laskenta

Valitusta anturista johtuen jouduttiin laitteiston puutteita paikkaamaan ohjelmallisesti. Koska anturilta ei ole mahdollista saada tietoa moottorin pyörimissuunnasta, piti se selvittää välillisesti. Ongelmallista tässä oli, ettei yhdeltäkään laitteelta saada varmaa tietoa moottorin tilasta. Logiikan tiedossa on ainoastaan taajuusmuuttajalle esitetty toive ajettavasta suunnasta. Tilanteesta riippuen saattaa mennä huomattavankin pitkä aika ennen kuin haluttu pyörimissuunta saavutetaan. Näin voi käydä esimerkiksi tapauksessa, jossa moottori pyörii täydellä nopeudella vastakkaiseen suuntaan ja taajuusmuuttajan pitää hidastaa ja pysäyttää moottori ennen kuin suunnan vaihto on mahdollista. Paras arvio pyörimissuunnasta on taajuusmuuttajalla, mutta senkin tiedot perustuvat matemaattisesta mallista johdettuun laskelmaan johtuen käytössä olevasta Open Loop – tyyppisestä ohjauksesta, eli ohjauksesta ilman takaisinkytkentää. Taajuusmuuttajalta ei myöskään viedä arviota pyörimissuunnasta logiikalle, koska käytössä olevia I/O-liityntöjä tarvittiin muihin tarkoituksiin (liite 1 lehti 2/3).

Logiikka pääättelee suunnanvaihdon olevan mahdollista, kun jarru on päällä. Sähköjen katkaisemisen jälkeen jarrun kytkeytymiseen menee hetki, joten ohjelma estää suunnanvaihdon 0,5 sekunnin sisällä jarrun kytkeytymisestä. Näin saadaan tarkka kuva moottorin pyörimissuunnasta. Haittapuolena on 0,5 sekunnin tauko, jolloin ajosuuntaa ei ole mahdollista vaihtaa. Ottaen huomioon koneen käyttötarkoituksen tämä haitta on hyvin merkityksetön, eikä ole peruste anturin vaihtamiselle.

Logiikka käyttää Siemensin valmista laskurilohkoa paikan seuraamiseen. Kun moottori pyörittää hyllyjä ylöspäin, lisätään pulssit tämän hetkiseen paikkaan ja alaspäin mentäessä vähennetään. PulssiLasku-ohjelma seuraa laskettua paikkaa ja korjaa lukeman, kun hyllystö pyörrähtää ympäri. Ilman tätä ohjelmaa pulsseja olisi mahdollista vähentää tai lisätä kunnes laskurin muisti ylivuotaa. Virheellinen paikka johtaisi tilanteeseen, jossa automaattinen hyllyjen selailu ei toimisi oikein, vaan saattaisi ajaa väärään suuntaa, eikä välttämättä pysähtyisi ollenkaan.

PulssiLasku [FC2]

```
0001 IF #paikka>"HyllyData".ketjunPituus THEN
0002 //Hyllyt kiertäneet positiivisessa suunnassa ympäri
0003 #korjausPaikka:=#paikka-"HyllyData".ketjunPituus;
0004 #LD:=true;
0005 ELSIF #paikka<0 THEN
0006 //Hyllyt kiertäneet negatiivisessa suunnassa ympäri
0007 #korjausPaikka:="HyllyData".ketjunPituus+#paikka;
0008 #LD:=true;
0009 ELSE
0010 #LD:=false;
0011 END_IF;
```

9 KONEEN JA IHMISEN VÄLINEN RAJAPINTA

Koneen ja ihmisen välinen rajapinta eli HMI (Human Machine Interface) on toteutettu kosketuspaneelilla, neljällä painonapilla, merkkilampulla ja painonappimerkkilamppu –yhdistelmällä. Käyttäjäraajapinnan suunnittelun tärkeimpiä lähtökoh-
tia oli käytettävyyden yksinkertaisuus ja tehokkuus. Tarkoituksena oli kehittää mah-

dollisimman helppo tapa syöttää halutun hyllyn numero automaatile ja aloittaa automaattinen hyllyjen ajo. Tärkeää oli parantaa käytettävyyttä verrattuna vanhaan järjestelmään, jossa hyllynumeron syöttäminen oli epäselvää ja hidasta. Automaattisen hyllyjen ajon lisäksi käyttäjällä on mahdollisuus ajaa hyllyjä käsin kahdella eri nopeudella painonappeja hyödyntäen.

Käyttäjä saa tietoa järjestelmän tilasta pääasiassa hyllyihin merkatun hyllynumeron sekä vihreän ja punaisen merkkilampun välityksellä. Vihreä merkkilamppu ilmaisee hyllyjen olevan pysähtyneenä ja järjestelmän sellaisessa tilassa, että tavaroiden poimiminen eli valoverhon läpäiseminen on mahdollista ilman, että siitä seuraisi hätäpysäytys. Punainen merkkilamppu ja siihen yhdistetty painonappi ilmoittavat järjestelmän olevan hätäseis-tilassa ja mahdollistavat tilan kuittaamisen häiriöiden poiston jälkeen. Toissijaista tietoa järjestelmän tilasta, kuten taajuusmuuttajan diagnostiikkaa, on saatavilla tarvittaessa paneelilta.

Paneelin tärkein toiminnallisuus on hyllyjen numeroiden syöttäminen. Automaattinen ajo tapahtuu käyttäjän näkökulmasta hyvin yksinkertaisesti. Käyttäjä syöttää kosketusnäytön numeronäppäimistöä hyväksi käyttäen numeron välillä 0-99. Käyttäjän syöte tarkastetaan ohjelmassa ja vain olemassa olevaa hyllyä vastaava luku hyväksytään. Siemensin paneelien ohjelmoinnin avuksi tarjottava vakiokirjasto sisältää kokonaislukujen syöttämiseen soveltuvan kentän. Tämän kentän käyttö ei kuitenkaan ole tässä käyttötapauksessa tehokasta, koska numeron syöttäminen vaatii useita toimia käyttäjältä. Numeron syöttämiseksi vakiokenttään käyttäjän tarvitsee: 1° Painaa haluttua kenttää 2° Syöttää haluttu luku avautuvalla, hyvin pienellä, näppäimistöllä, jonka käyttö vaatii huomattavaa tarkkuutta 3° hyväksyä syötetty luku 4° aloittaa automaattinen ajo. Ongelmana vakiokirjaston ratkaisussa on useat käyttäjältä vaaditut painallukset ja pienet numerot, jotka eivät hyödynnä tehokkaasti tarjolla olevaa näyttötilaa.

Parannuksena vakiokirjaston ratkaisuun toteutettiin oma numeronäppäimistö. Tavoitteena oli saada hyllyn numero syötettyä mahdollisimman pienellä painallusmäärällä ja mahdollisimman pienellä virhenäppäilyyn mahdollisuudella. Ratkaisussa päädyttiin Kuva 5. Paneelin päänäyttö. mukaiseen ratkaisuun, jossa numeropainikkeet ovat mahdollisimman suuret syöttämisen helpottamiseksi. Numeron muodostamisessa

käytetään avuksi numeronMuodostus-ohjelmaa, joka tarvittaessa yhdistää syötetyt numerot kaksinumeroiseksi luvuksi. Esimerkiksi tilanteessa, jossa käyttäjä haluaa automaatin ajavan hyllyn 42 keräilyaukole, hän: 1° painaa numeroa ”4” 2° painaa numeroa ”2” 3° painaa ”AJA”-painiketta. Ohjelma ymmärtää ensimmäisen luvun tarkoittavan kymmeniä ja toisen ykkösiä. Itse kehitetyn näppäimistön etuja verrattuna vakiokirjaston ratkaisuun ovat moninkertaisesti suuremmat painikkeet ja tehokkaampi käyttöliittymä numeroiden syöttämiseen. Kahden painalluksen karsiminen ei välttämättä kuulosta suurelta saavutukselta, mutta prosentteina se vastaa 40 % vähemmän painalluksia kaksinumeroisia lukuja syötettäessä ja 50 % vähennystä yksinumeroisia lukuja syötettäessä. Lisäksi painikkeet ovat suurempia ja niitä on huomattavasti vähemmän, jolloin myös painikkeen etsimiseen ja virhenäppäilyihin kulunut aika vähenee.



Kuva 5. Paneelin päänäyttö.

numeronMuodostus [FC7]

```
0001 IF "HylllyData".numeroKasitelty THEN
0002 // Jos ei uutta tietoa, exit
0003 RETURN;
0004 END_IF;
0005
0006 //Laskee halutun numeron ja siirtää tarvittaessa toisen numeron
kymmeniin
0007 //painetaan 4 - nro=4
0008 //painetaan 2 - nro=42
0009 IF "HylllyData".toinenNumero THEN
0010 "HylllyData".hylllyNRO:="HylllyData".hylllyNRO*10+"HylllyData".tempNRO;
0011 "HylllyData".numeroKasitelty:=true;
0012 "HylllyData".toinenNumero:=false;
```

```
0013 ELSIF NOT "HyllyData".toinenNumero THEN
0014 "HyllyData".hyllyNRO:="HyllyData".tempNRO;
0015 "HyllyData".toinenNumero:=true;
0016 "HyllyData".numeroKasitelty:=true;
0017 END_IF;
0018
```

Anturin valinnasta johtuen (luku 7.2) on mahdollista, että hyllyjen sijaintia seuraavaan laskuriin kertyy virhettä, joka tarpeeksi suurena hankaloittaa hyllyjen automaattista ajoa. Käyttäjän on mahdollista helposti korjata tämä virhe. Virheen korjaus tapahtuu ajamalla jokin hylly käsin keräilyaukolle ja syöttämällä tämän hyllyn numero paneelin hyllyjen ”Kohdistus”-näytöllä olevaan kenttään ja painamalla korjaapainiketta. Tällöin ohjelma syöttää valitun hyllyn sijainnin laskuriin ja hyllyjen sijaintitieto on oikein.



Kuva 6. Koneen ja käyttäjän välinen rajapinta.

10 PROJEKTIN TOTEUTTAMINEN JA TULOS

10.1 Projektin tuloksen hyödyntäminen ja arviointi

Projektin käyttöönotto tapahtui 15.–17.2.2013. Sen jälkeen paternosteriin tehtiin muutamia lisäyksiä ja ohjelmamuutoksia, kuten esimerkiksi vanhojen valokennojen kytkeminen ja liittäminen logiikkaohjelmaan ja jarruvastuksen lisääminen taajuusmuuttajaan.

Käyttöönoton jälkeen projektissa esiintyi muutamia ongelmia, joiden ratkaisemiseen meni aikaa ja jotka aiheuttivat häiriöitä ja käyttökatkoksia. Yksi hankalimmista ongelmista oli valoverhojen käyttöönotto. Ensimmäinen pulma oli valoverhojen kiinnittäminen vanhaan rakenteeseen ja kiinnitysratkaisusta johtuneet ongelmat kohdistamisessa. Vielä hankalamman ongelman synnyttivät valokennot, jotka satunnaisesti aiheuttivat häiriöitä valoverhoissa. Tämä tapahtui ilmeisesti tilanteessa, jossa valokennojen lämpötila muuttui sellaiseksi, että niiden lähettämä valo osui samalle aaltopituudelle valoverhojen käyttämän valon kanssa. Toimintaa haitanneet ongelmat saatiin kuitenkin ratkaistua ja paternoster-varastoautomaatti on toiminnassa ja tuotantokäytössä.

Projektin ansiosta paternoster-varastoautomaatista on nyt olemassa kattava dokumentaatio, niin sähkökuvien, laitteiden ohjekirjojen kuin ohjelmakoodien muodossa. Laitteeseen on nyt helppo tehdä muutoksia, päivityksiä ja parannuksia, koska ohjausjärjestelmä vaihdettiin suljetusta mikrokontrollerista avoimeen ohjelmoitavaan logiikkaan ja ohjelman lähdekoodi on yrityksen käytettävissä. Lisäksi paternosterin turvalaitteet päivitettiin vastaamaan moderneja vaatimuksia.

10.2 Projektin jatkuminen ja keskeiset uudet ideat

10.2.1 Yhdistäminen ERP-järjestelmään

Modernin ohjausjärjestelmän tarjoamien liityntöjen, kuten profinet interfacen, ansiosta laitetta ohjaava logiikka on mahdollista liittää yrityksen ERP-järjestelmään, jolloin poimittujen tavaroiden tiedot olisi mahdollista päivittää automaattisesti.

10.2.2 Viivakoodinlukija ja selailujen ketjuttaminen

Ohjausjärjestelmään olisi mahdollista liittää viivakoodinlukija, jolloin keräilylista olisi mahdollista lukea nopeasti eikä hyllyjen numeroita olisi tarpeen syöttää käsin. Ohjausjärjestelmän avulla olisi myös mahdollista optimoida keräiltävien tavaroiden keräilyjärjestys. Jos ohjelman tiedossa olisi keräiltävät tavara, olisi mahdollista laskea, missä järjestyksessä ne kannattaa poimia siten, että hyllyjä tarvitsee ajaa mahdollisimman vähän.

10.2.3 Anturoinnin parantaminen

Jos käytössä havaitaan, että valittu anturointiratkaisu ei ole riittävän luotettava, on mahdollista lisätä johonkin käytössä olevaan hyllyyn absoluuttisen paikan ilmaiseva anturi, kuten esimerkiksi induktiivinen anturi ja haittalevy. Tällöin aina tämän kohdan ohi ajettaessa hyllyjen sijainti olisi oikein kohdistettu.

LÄHTEET

Eltran www-sivut. 2012. Viitattu 6.3.2013. www.eltra.it

Kastenin www-sivut. 2013. Viitattu 19.3.2013. www.kasten.fi

Satmatic Oy. Avain menestykseen. Viitattu 18.3.2013. http://www.satmatic.fi/upload/Tuotteet/Satmatic_esite.pdf

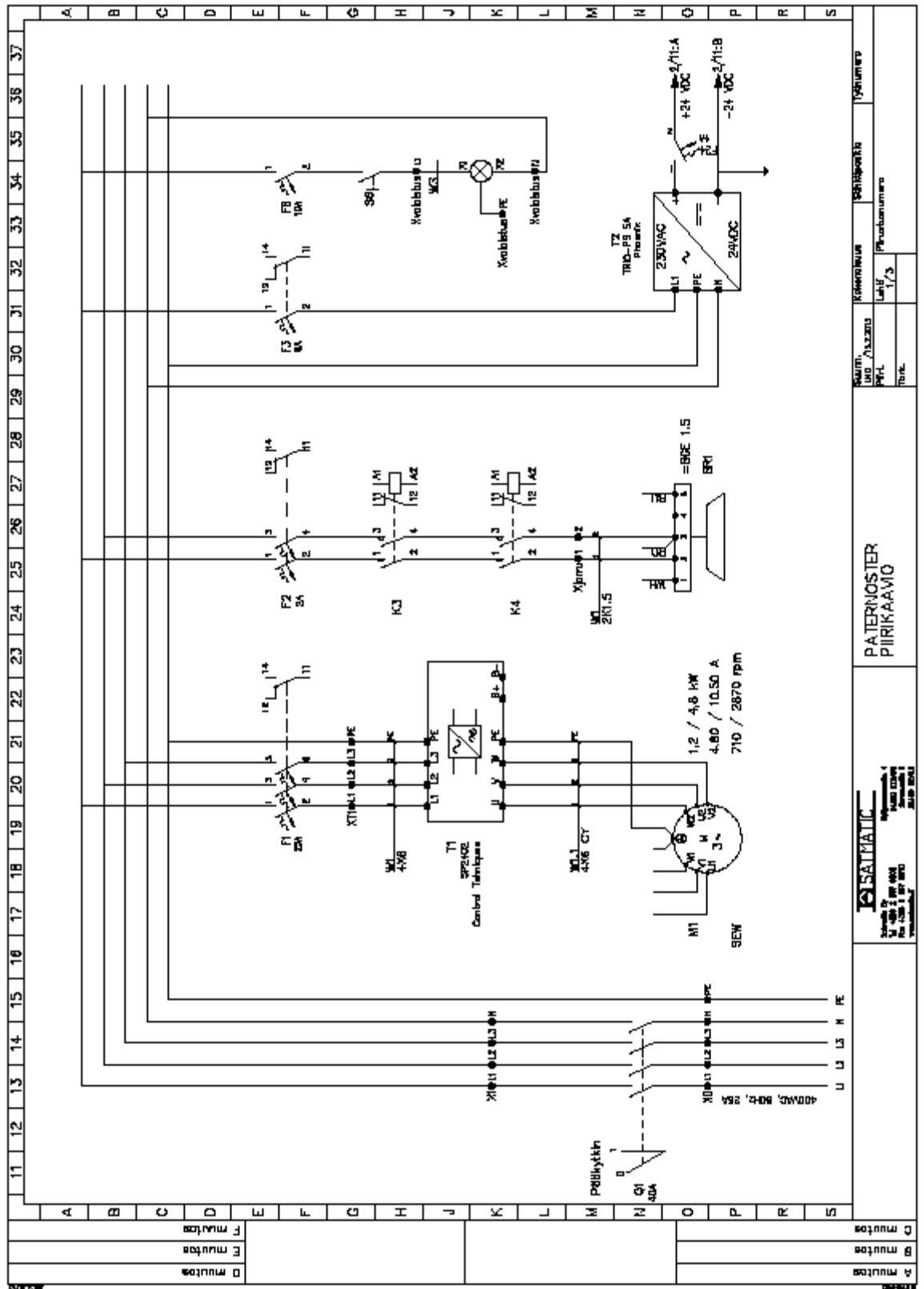
Sundquist, M. 2010. Turvallisuusvastuut koneiden modernisoinnissa – eurooppalaiset turvallisuusvaatimukset. MetSta. Viitattu 8.4.2013. http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/artikkelit/2010_nro_008.pdf

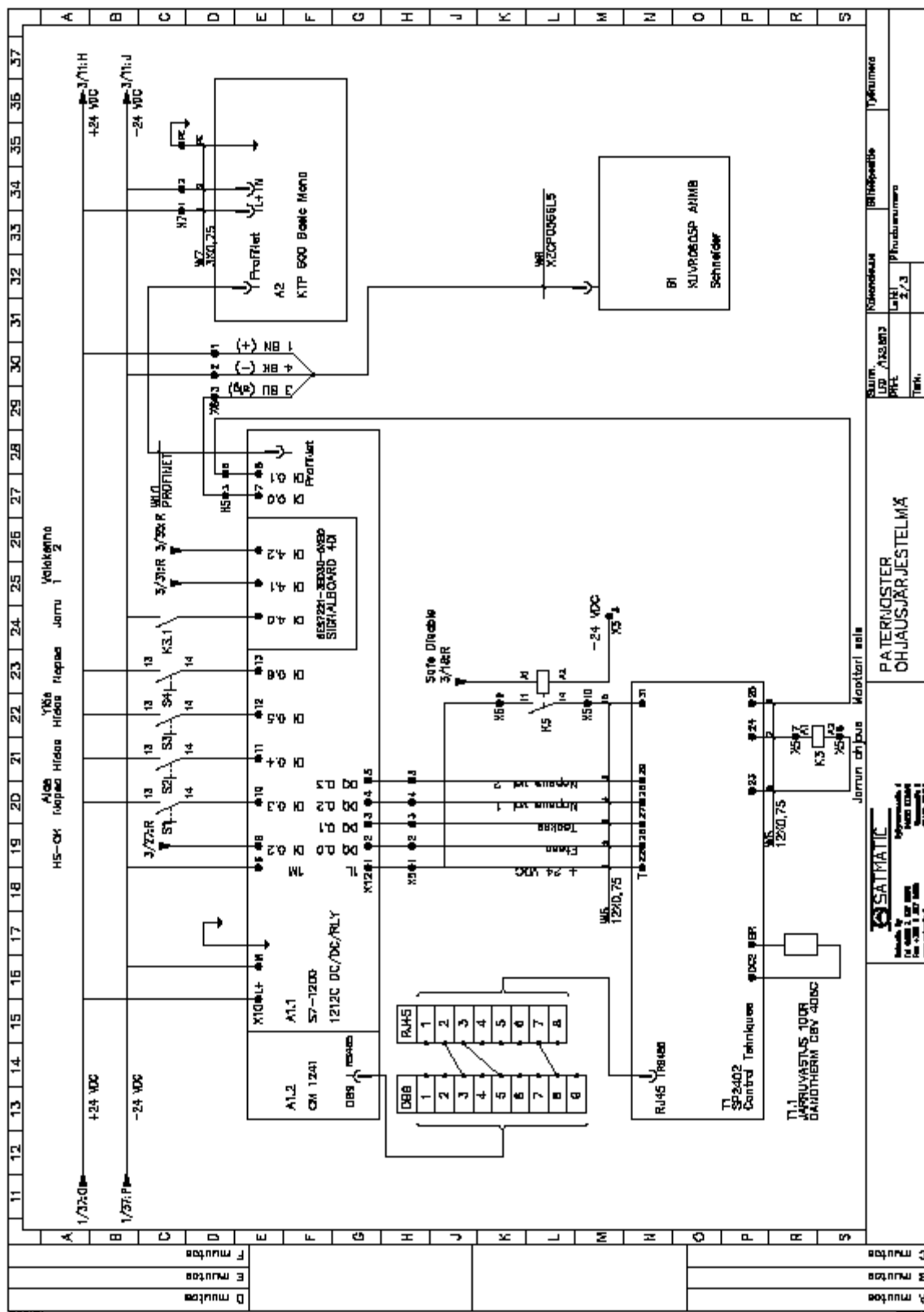
SFS-EN ISO 13855. Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 6.3.2013. <http://www.sfs.fi>

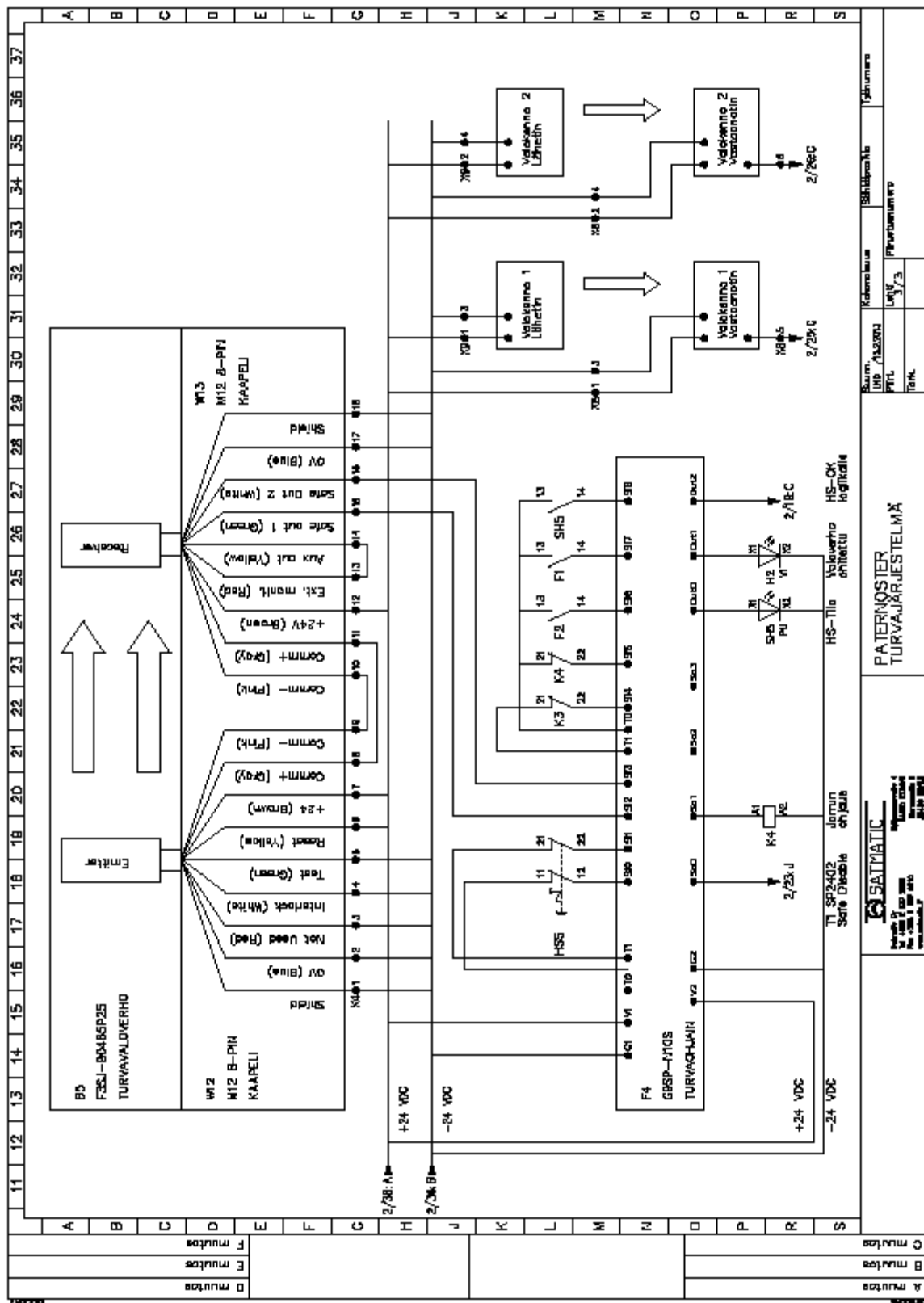
SFS-EN ISO 12100. ”Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 2010. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 6.3.2013. <http://www.sfs.fi>

Työturvallisuuslaki. 2002. 23.8.2002/738

Liite 1 - Piirikaavio







Liite 2 - Osaluettelo

pvm. 13.2.2013				Salmatic		Osaluettelo		=	
suun.		Luo		Päivöster				+	
laik.								Lehti: 1	
tyy.								U: 2	
Päivös / muuttaja				pvm		Tiedosto: C:\Users\user\Desktop\Osaluettelo.xlsx			
Positio	kp	tyyppi	Kuvaus	Valmistaja	Huom	Ville			
F6	1	F3SJ-B046P25	Turvavaroitus	Omron					
W1	1	Y925 M12PURSH6S5M-L	Receiver cable M12 8 pin 5m	Omron					
F6	1	F39-LJB5	Kiinnikkeet	Omron					
F4	1	G6SP-N10S	Turvavaroitus + Ohjelmisto	Omron					
A1.1	1	6ES7212-1HD30-0XB0	CPU 1212C, DC/DC/RLY	Siemens					
A1.1	1	6ES7221-3BD30-0XB0	Signalboard, 4DI	Siemens					
A1.2	1	6ES7241-1CH31-0XB0	CM 1241, RS422/485	Siemens					
A2	1	6AV6 647-0AB11-3AX0	KT P600 basic mono	Siemens					
K3,K4	2	3RT10 151 BB42	Kontakortti, jarru	Siemens					
K3.1	1	3RH19 11-1FA22	Kosketinpaikka	Siemens					
F1	1	6es7225-7	Johdinsuojakaapeli 3x 25A	Siemens					
F3	1	6es7105-7	Johdinsuojakaapeli 1x 5A	Siemens					
F2	1	6es7222-7	Johdinsuojakaapeli 2x 2A	Siemens					
F6	3	5S T3 010	Apukasetti, NO+NC	Siemens					
S5	1	XB4 BS444	Vahvi, 10A	Schneider					
SH5	1	XB4 BN34B5	Teräsiili	Schneider					
S1, S2	2	XB4 BA334.1	Teräkuusi	Schneider					
S3, S4	2	XB4 BA335.1	paikkayhteys	Schneider					
S6	1		paikkayhteys	Schneider					
H2	1	XB4 BV B3	Vahvin ohjauk	Schneider					
B1	1	XUVR0605P ANM48	markkilaippa, vika	Schneider					
W2	1	XZC P0566 L5	valopotti	Schneider					
Q1	1	OT40FT4N2	M8 3pin lihto 5m	Schneider					
Q1	1	OHBS2PJ	Päilytint, oren	ABB					
			vilähtin, musta	ABB					
T2	1	TRIO-PS1 AC/24V5	24VDC virtalähde, 5A	Phoenix					

Vaarojen tunnistaminen ja riskin arviointi

SFS-EN ISO 12100 Taulukon B.1 pohjalta tehty vaarojen tunnistaminen.

Riskin suuruuden ja merkityksen arviointiin käytetään standardin SFS-ISO/TR 14121-2 liitteessä A.3 esitettyä riskimatriisia

Vaara

vakavuus

todennäköisyys

Yleisesti todennäköisyyksistä

Työskentely tapahtuu puhtaissa sisätiloissa, asennushallissa, jossa on hyvä valaistus. Halliin on ulkopuolisilta pääsy estetty lukituilla ovilla. Tiloihin pääsee vain avaimella. Työntekijät ovat koulutettuja ja heillä on aikaisempaa kokemusta vastaavasta koneesta. Turvatoimintoihin on käytetty luotettavia komponentteja ja suojaustoimintoja on hankala ohittaa, eikä siihen ole suurta tarvetta. Lisäksi yritykseltä löytyy tietotaitoa sähköisten- ja ohjelmallistentoimintojen ylläpitoon. Kaikki edellä mainitut tekijät vähentävät vaarojen todennäköisyyttä ja ne pätevät kaikkiin alla lueteltuihin, tunnistettuihin vaaroihin.

1. Mekaaniset vaarat

Hyllyjen liikkeestä johtuva nieluunjoutuminen

Kohtalainen, pahimmillaan, käden joutuessa hartiaa myöden nieluun, on vaarana huomattava ruhjoutuminen. Hyllyjen ja työtason tai koneen seinien välissä on kaapeimmillaankin n. 7cm levyinen rako, jolloin käsi ei joudu murskaavan puristuksen kohteeksi. Vaikka hyllyissä ja varastotasossa onkin pyöristetyt reunat, ovat hyllyn pyöreäkantaisten kiinnitysruuvit koholla ja ne voivat raapia ihoa.

Epätodennäköinen, työskentely aukon korkeus on n. 52cm ja vasta sen ylä- tai alareunassa on vaarana käden nieluunjoutuminen. Tällöin työntekijälle jää hyvin aikaa reagoida odottamattomaan käynnistykseen ja vetää käsi pois hyllystä. Vaikka käsi joutuisikin hyllyn ja työtason tai koneen seinän väliin on se sieltä vielä mahdollista vetää pois. Lisäksi koneen ohjauspaikka on välittömästi työskentelyaukon vieressä ja siitä on täysi näkyvyys hyllyille.

Hyllyjen liikkeestä johtuva takertumisvaara

Kohtalainen, vaatteiden takertuessa liikkuvaan hyllyyn on mahdollista, että henkilön käsi joutuu nieluun ja vaatteiden hajotessa syntyy ruhjeita. Ks. Hyllyjen liikkeestä johtuva nieluunjoutuminen.

Epätodennäköinen, hyllyissä on vain vähän kohtia, joihin vaate voisi takertua ja niistäkin suurin osa on sellaisessa kulmassa, josta vaate helpommin luiskahtaa pois, kuin takertuu kiinni hyllyjen liikkeessä. Vaatteiden takertuessa tilannetta on vaikeampi välttää kuin nieluunjoutumisvaaraa, koska takertuneen vaatteiden irrottaminen vie enemmän aikaa kuin käden pois vetäminen. Toisaalta takertuminen on epätodennäköisempää, koska tilanteessa pitää täyttyä sekä nieluunjoutumistilanteen ehdot että takertuminen.